



УДК 621.436

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ И ТЕПЛОТДАЧИ В ВЫПУСКНОЙ СИСТЕМЕ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ РАЗМЕРНОСТИ 8,2/7,1**NUMERICAL SIMULATION OF GAS DYNAMICS AND HEAT TRANSFER IN THE EXHAUST SYSTEM OF THE PISTON ENGINE WITH 8.2/7.1 DIMENSIONS**

Мисник Мария Олеговна, магистр каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: misnikmariya@yandex.ru, Тел.: +7(912)644-75-49

Плотников Леонид Валерьевич, канд. техн. наук, доцент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: leonplot@mail.ru. Тел.: +7(922)291-64-50

Mariya O. Misnik, Magister, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: misnikmariya@yandex.ru, Тел.: +7(912)644-75-49

Leonid V. Plotnikov, Candidate of technical Sc., Associate Prof., Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: leonplot@mail.ru. Ph.: +7(922)291-64-50

Аннотация: В статье представлены результаты физико-математического моделирования газодинамики и теплоотдачи в выпускной системе поршневого двигателя внутреннего сгорания размерности 8,2/7,1. Приводится описание конфигурации исследуемой системы выпуска и физические особенности разработанной математической модели. Результаты, полученные в ходе моделирования, качественно согласуются с данными других авторов. Разработанная математическая модель может применяться при проектировании и доводке выпускных систем поршневых ДВС.

Abstract: The paper presents the results of the physical and mathematical modeling of gas dynamics and heat transfer in the exhaust system of a piston internal combustion engine of 8.2/7.1 dimension. The description of the configuration of the studied exhaust system and the physical features of the developed mathematical model are given. The results obtained during the simulation are in qualitative agreement with the data of other authors. The developed mathematical model can be applied at designing and finishing of exhaust systems of piston internal combustion engines.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания; выпускная система; численное моделирование; структура течения газов; теплоотдача.

Key words: internal combustion engine; exhaust system; numerical modeling; structure of gas flow; heat transfer.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в значительной степени зависит от совершенства процессов, протекающих в их выпускной системе [1-3]. Газодинамическое совершенство конструкции определяют структура потока в каналах и гидравлическое сопротивление выпускной системы [4, 5]. Это оказывает непосредственное влияние на качество очистки цилиндра от отработавших газов и, соответственно, на технико-экономические показатели поршневых ДВС. В свою очередь, тепломеханическое совершенство конфигурации системы выпуска определяет теплонапряженность ее деталей и узлов, а также величину теплоперепада, которой может сработать в турбине турбокомпрессора в случае двигателя с

наддувом [6, 7]. Таким образом, получение сведений о структуре потока, полях скоростей и интенсивности теплоотдачи в выпускной системе поршневых ДВС является актуальной задачей развития двигателестроения.

В данной работе представлены результаты математического моделирования стационарных газовых потоков в выпускной системе поршневого двигателя размерности 8,2/7,1. Математическое моделирование выполнялось с помощью программного обеспечения STAR CCM+, разработанного компанией CD-adapco. Цель работы состояла в том, чтобы разработать базовую математическую модель выпускной системы поршневого ДВС для оценки исходных характеристик газодинамики и теплообмена с возможностью их дальнейшего совершенствования.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования структуры и теплообмена потока при течении газа в выпускной системе была разработана математическая модель на базе программного комплекса STAR-CCM+.

Конфигурация исследуемой системы выпуска поршневого ДВС состояла из 4 основных элементов: цилиндр двигателя, выпускной клапан, головка цилиндра с выпускным каналом в ней и выпускной трубопровод (рис. 1). Диаметр цилиндра составлял 82 мм, внутренний диаметр выпускного трубопровода и канала в головке цилиндра равнялся 30 мм. В ходе моделирования выпускной клапан находился в крайнем верхнем (открытом) положении (высота подъема клапана равнялась 9 мм).

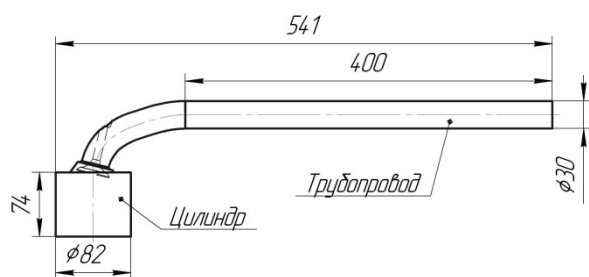


Рис. 1. Конфигурация исследуемой выпускной системы ДВС размерности 8,2/7,1

Разбиение геометрической модели выпускной системы на конечные элементы представлено на рис. 2. В данном случае сетка состояла из 627156 ячеек.



Рис. 2. Разбиение модели выпускной системы на конечные элементы (более 600 тыс. ячеек)

Граничные условия при моделировании состояли в следующем. На входе в модель задавалось избыточное давление в цилиндре (давление в конце выпуска) от 90,15 до 130 кПа. На выходе модели – 90 кПа, т.е. барометрическое давление за вычетом потери давления вследствие гидравлических потерь в системе. Таким образом, разница давлений между входом и выходом составляла Δp от 0,15 до 40 кПа. При таких условиях скорость потока газа на выходе из

выпускного трубопровода равнялась от 10 до 130 м/с. Для исследуемого типоразмера двигателя это соответствует частотам вращения коленчатого вала примерно от 1000 до 4500 мин⁻¹. В качестве рабочей среды использовался сухой воздух с температурой 20 °С. Для моделирования турбулентного течения использовалась k-ε модель турбулентности. Задача решалась в стационарной постановке.

СТРУКТУРА ПОТОКОВ ПРИ ТЕЧЕНИИ ГАЗА В ВЫПУСКНОЙ СИСТЕМЕ ДВС

На рис. 3 в качестве примера приведены результаты моделирования для разницы давлений на входе и выходе Δp равной 0,15 и 40 кПа. Установлено, что в исследуемой выпускной системе образуется несколько застойных зон. Одна зона (кольцевая) наблюдается в канале в области тарелки клапана. Вторая застойная зона образуется также в канале в головке цилиндра за штоком клапана. Полученные данные хорошо согласуются с данными других авторов [1, 2].

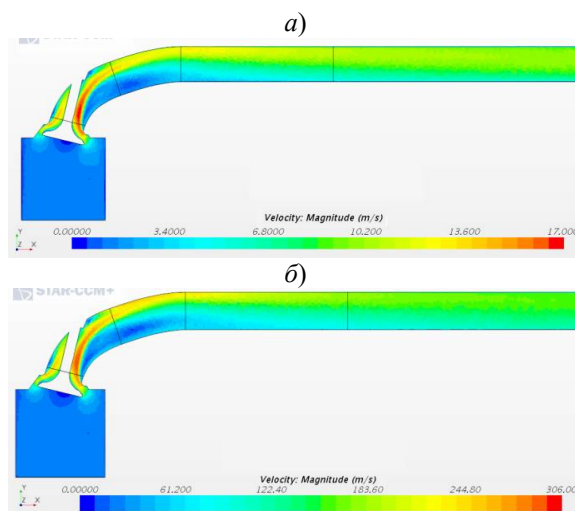


Рис. 3. Визуализация полей скоростей течения газа в выпускной системе ДВС при разных перепадах давлений Δp : а) 0,15 кПа; б) 40 кПа

Следует отметить, что поле скоростей потока газа в продольном сечении выпускной системы имеет одинаковую структуру, что характерно для всех исследуемых Δp . Отличия состоят лишь в величинах скоростей потоков в элементах системы выпуска.

ТЕПЛООТДАЧА ПРИ ТЕЧЕНИИ ГАЗА В ВЫПУСКНОЙ СИСТЕМЕ ДВС

На рис. 4 представлены зависимость коэффициента теплоотдачи α от скорости потока воздуха w в выпускном трубопроводе поршневого ДВС.

Установлено, что с ростом скорости потока воздуха интенсивность теплоотдачи возрастает. При этом, полученная зависимость $\alpha = f(w)$,

хорошо совпадает с классическими критериальными уравнениями для расчета коэффициента теплоотдачи в гидравлических системах разных конфигураций.

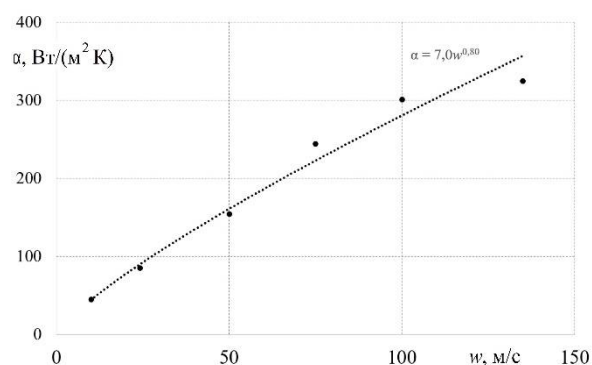


Рис. 4. Расчетная зависимость коэффициента теплоотдачи α от скорости потока воздуха w в выпускном трубопроводе поршневого ДВС

В частности, установлено, что величина коэффициента теплоотдачи зависит от скорости потока воздуха в степени 0,8, что согласуется с классической работой [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования можно сделать следующие основные выводы:

- разработана математическая модель впускной системы поршневого ДВС размерности 8,2/7,1, отвечающая физическим процессам газодинамики и теплообмена потоков газа в ней;
- поля скоростей и данные об интенсивности теплоотдачи газовых потоков в выпускной системе ДВС, полученные с помощью численного моделирования согласуются с данными других авторов;
- предлагаемая математическая модель может применяться для модернизации существующей или для проектирования новых выпускных систем поршневых ДВС размерности 8,2/7,1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Драганов Б. Х. Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания / Б. Х. Драганов, М. Г. Круглов, В. С. Обухова. К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. 175 с.
2. Вихерт М. М. Конструирование впускных систем быстроходных дизелей / М. М. Вихерт, Ю. Г. Грудский. М.: Машиностроение, 1982. 151 с.
3. Совершенствование процессов в газоздушных трактах поршневых двигателей внутреннего сгорания: монография / Б. П. Жилкин [и др.]; под общ. ред. Ю. М. Бродова. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 228 с.
4. Plotnikov L. The flows structure in unsteady gas flow in pipes with different cross-sections / L. Plotnikov, A. Nevolin, D. Nikolaev // EPJ Web of Conferences. 2017. Vol. 159. Article number 00035.
5. Numerical and Experimental Study of In-Cylinder Cleaning Technologies for Medium Speed Diesel Engines / Yang T., He S., Long W., Fu Y., Tian H., Feng L. // CIMAC World Congress on Combustion Engine 28th (Helsinki, 2016). 2016. P. 300-308.
6. Grishin Y. A. Boundary Conditions for Numerical Calculation of Gas Exchange in Piston Engines / Y. A. Grishin, V. A. Zenkin, R. N. Khmelev // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. №4. P. 1-6.
7. Plotnikov L. V. Improvement of the thermal and mechanical flow characteristics in the exhaust system of piston engine through the use of ejection effect / L. V. Plotnikov, B. P. Zhilkin, Y. M. Brodov // IOP Conf. Series: Journal of Physics. 2017. Vol. 891. Article number 012154.
8. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие / С. С. Кутателадзе. М.: Энергоатомиздат, 1990. 367 с.